

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОВОЛОКИ ПОСЛЕ НЕПРЕРЫВНОГО МЕТОДА ДЕФОРМАЦИОННОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ

PECULIARITIES OF FORMING ULTRA-FINE GRAIN STRUCTURE AND WIRE MECHANICAL PROPERTIES AFTER THE CONTINUOUS METHOD OF DEFORMATION NANOSTRUCTURING

М.А. Полякова, А.Е. Гулин, О.А. Никитенко, Д.В. Константинов,
М.С. Жербцов

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова», Россия
walter_chel@mail.ru

Abstract

The essence of developed approach concludes the simultaneous imposition on continuously moving wire the dilatational strain wire drawing, the bending strain in transit through system of rollers and twisting strain. Highly carbonaceous wire was selected as the subject of studies, since it is the claimed form of metal wire production and the formation of ultrafinegrain structure in it is one of the directions of improving its performance properties. The results of conducted metallographic investigations showed that such deformation action combination on wire made of high-carbon steel 75 leads to crushing of its separate structural components, which size becomes less than 1000 nm, so it makes possible to classify the obtained structure as ultrafine-grain. As a result conducting mechanical tests it is established that the simultaneous action on high-carbon steel of dilatational strains and twisting leads to an increase of wire strength and plastic properties. The uniform microhardness distribution by wire section makes it possible to judge the uniformity of obtained structure and properties.

В ходе многочисленных исследований установлено, что металлы и сплавы с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой обладают таким уровнем механических свойств, который в значительной степени отличается от их крупнокристаллических аналогов [1 – 8 и др.]. Доказано, что углеродистые стали с УМЗ структурой обладают таким уровнем механических свойств, который характерен для легированных сталей с крупнокристаллической структурой [9 – 12].

Однако существующие методы деформационного наноструктурирования характеризуются низкой технологичностью, дискретностью, ограниченными размерами обрабатываемых заготовок, что затрудняет их внедрение в действующие технологические процессы промышленного производства. С этой точки зрения актуальной является задача разработки таких методов деформационного наноструктурирования, которые, с одной стороны,

обеспечивали бы формирование УМЗ структуры по всему объему обрабатываемой заготовки, с другой – технологическая скорость в ходе такой деформационной обработки соответствовала промышленным скоростям металлообработки метизного производства [13].

Учеными кафедры машиностроительных и металлургических производств ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» разработан метод непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки [14, 15]. Сущность разработанного метода состоит в одновременном наложении на непрерывно движущуюся проволоку деформации растяжения волочением, деформации изгиба при прохождении через систему роликов и деформации кручением (рисунок 1) [16].

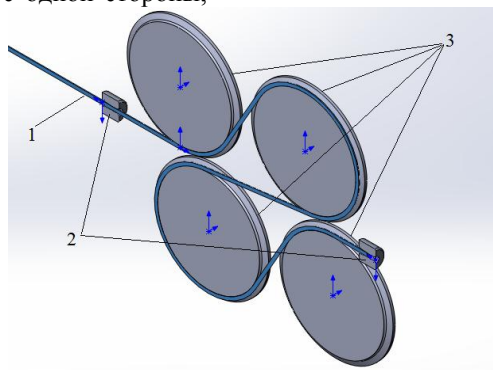


Рис. 1 - Принципиальная схема метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки:
1 – проволока; 2 – волокна; 3 – система роликов

Преимуществом такой схемы деформирования является возможность использования для ее реализации имеющиеся в метизном производстве технические устройства. Основными технологическими параметрами разработанного процесса, влияющими на процесс формирования УМЗ структуры и механические свойства проволоки, являются обжатия в волоках и количество оборотов скручивания [17 - 19].

В качестве объекта исследования была выбрана проволока из высокоуглеродистой стали марки 75 диаметрами 3,05 мм и 2,15 мм. В исходном состоянии проволока имеет феррито-перлитную структуру, характерную для данного класса стали (рисунок 2, а). При этом количество

феррита не превышает 5%, что свидетельствует о ее низких пластических свойствах. Была проведена серия экспериментов по исследованию влияния интенсивности деформации на изменение микроструктуры и механических свойств проволоки после непрерывного метода деформационного наноструктурирования. Суммарная степень обжатия в волоках составляла 19,88 % и 16,89 %, для диаметра проволоки 3,05 мм и 2,15 мм соответственно. При одинаковой степени деформации волочением увеличивали степень деформации кручением. За максимальную степень деформации (100 %) принимали количество оборотов скручивающего устройства, при котором происходил обрыв проволоки после второй волоки.

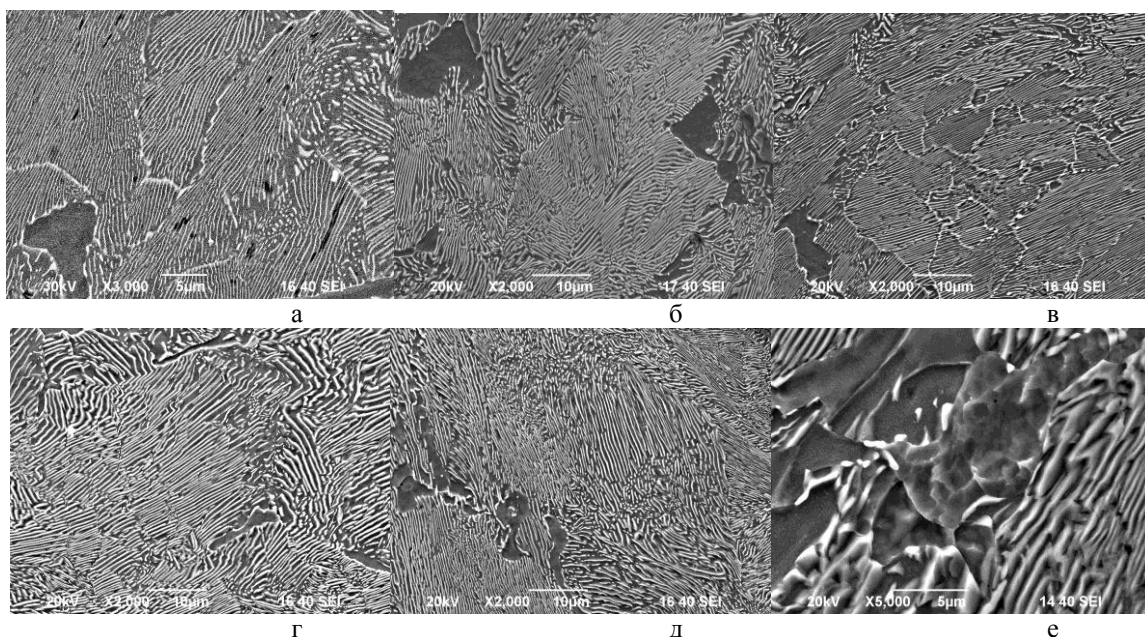
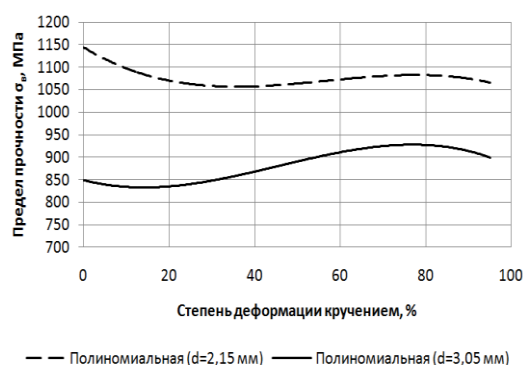


Рис.2 - Микроструктура проволоки после различных видов обработки: а – исходное состояние; б – волочение; в – волочение и знакопеременный изгиб; г, д, е - волочение, знакопеременный изгиб и деформация кручением в 13,5 %, 40,7 %, 81,4 % от максимального значения, соответственно

При наложении на проволоку деформации растяжения и изгиба проволоки после ее прохождения первой волоки и изгибающего устройства происходит сначала изгиб отдельных цементитных пластин, начинается процесс дробления перлитных колоний (рисунок 2, в). Наложение деформации кручения приводит к полному разрушению цементитных пластин, в структуре наблюдаются полосы сброса (рисунок 3, г, д). При увеличении степени деформации кручением происходит интенсивная деформация цементитных пластин и дробление зерен. Структура однородная во всем объеме, без несплошностей, пор и внутренних трещин. При большом увеличении наблюдается фрагментация

ферритных зерен (рисунок 3, е). Таким образом, совмещение деформационного воздействия на проволоку приводит к измельчению отдельных структурных составляющих, таких как межпластинное расстояние, толщина ферритных и цементитных пластин, размер которых становится меньше 1000 нм, что позволяет классифицировать полученную структуру как ультрамелкозернистую.

Результаты механических испытаний проволоки с УМЗ структурой различных диаметров после разработанного метода непрерывного деформационного наноструктурирования представлены на рисунках 3 - 5.



Рису. 3 - Влияние степени деформации кручением на величину предела прочности высокоуглеродистой проволоки с УМЗ структурой

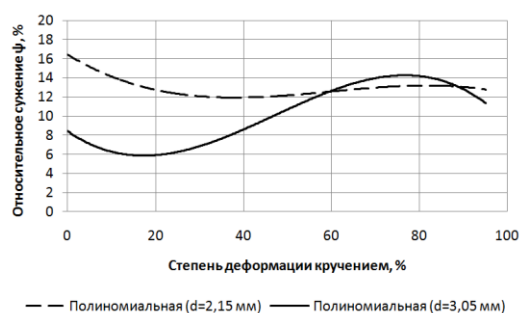


Рис. 4 - Влияние степени деформации кручением на величину относительного сужения высокоуглеродистой проволоки с УМЗ структурой

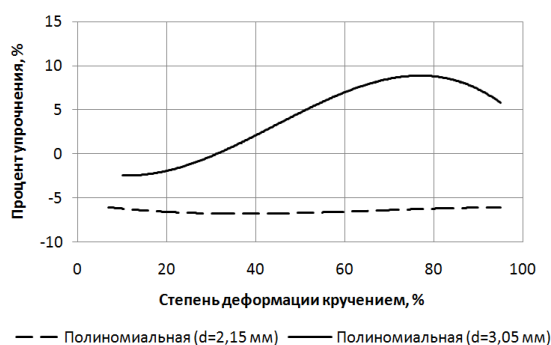


Рис. 5 - Упрочнение высокоуглеродистой проволоки с УМЗ структурой в ходе разработанного метода непрерывного деформационного наноструктурирования

На рисунке 6 представлены результаты исследований влияния различных видов деформации на величину микротвердости высокоуглеродистой проволоки с УМЗ структурой в ходе разработанного непрерывного метода деформационного наноструктурирования.

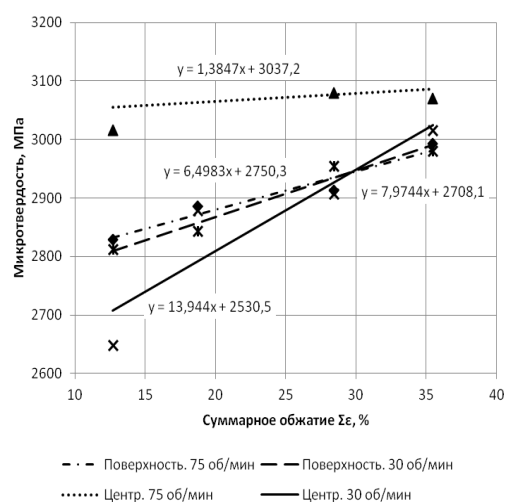


Рис. 6 - Зависимость микротвердости высокоуглеродистой проволоки с УМЗ структурой от суммарного обжатия при волочении при различной степени деформации кручением

Полученные данные свидетельствуют о том, что при малых степенях деформации кручением микротвердость в центральной области проволоки с увеличением степени обжатия возрастает более интенсивно, чем при больших степенях деформации кручением. В то же время микротвердость на поверхности проволоки изменяется в одинаковой степени интенсивно при всех значениях степени деформации кручением.

Разработанный непрерывный метод деформационного наноструктурирования проволоки позволяет в определенном диапазоне количества оборотов скручивания изменять механические свойства, сочетая при этом высокую прочность и пластичность.

Выводы.

В результате проведения комплекса исследований установлено, что одновременное воздействие на высокоуглеродистую проволоку деформаций растяжения, изгиба и кручения приводит к формированию в ней УМЗ структуры. При этом наблюдается периодическое изменение как прочностных, так и пластических свойств в зависимости от степени деформации кручением. Равномерное распределение микротвердости по сечению проволоки позволяет судить об однородности получаемой структуры и свойств по сечению. Полученные предварительные результаты позволяют определить такие режимы деформации, которые позволяют получить наибольший прирост прочности и пластичности материала.

Результаты металлографических исследований и механических испытаний проволоки после комбинированного деформационного воздействия позволяют судить о перспективности выбранного направления по совмещению различных методов деформирования для формирования УМЗ структуры в высокоуглеродистой проволоке. Поскольку в разработанном методе в качестве базовой выбрана операция волочения это позволяет обеспечить не-

прерывность процесса деформационного воздействия и интегрировать данный метод в действующие промышленные технологические процессы производства проволоки.

Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства с участием высшего образовательного учреждения (контракт 02.G25.31.0040), программы стратегического развития университета на 2012 – 2016 гг. (конкурсная поддержка Минобрнауки РФ программ стратегического развития ГОУ ВПО).

Список литературы

1. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. М.: Академия, 2005. 186 с.
2. Андриевский Р.А., Глезер А.М. Физика металлов и металловедение. 1999. Т. 88. № 1. С. 50 – 73.
3. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 398 с.
4. Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина Л.М. Рекристаллизация металлов и сплавов. М.: МИСИС. 2005. 432 с.
5. Панин В.Е., Панин А.В. Металловедение и термическая обработка металлов. 2006. № 12. С. 5 – 10.
6. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. М.: Металлургия, 1986. 224 с.
7. Кайбышев О.А., Утяшев Ф.З. Сверхпластичность, измельчение структуры и обработка труднодеформируемых сплавов. М.: Наука, 2002. 440 с.
8. Gleiter H. Acta Materialia. 2000. V. 48. № 1. P. 1 – 29.
9. Гун Г.С., Чукин М.В., Емалеева Д.Г., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Барышников М.П. Исследование формирования субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 3. С. 84 – 86.
10. Чукин М.В., Валиев Р.З., Рааб Г.И., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю. Исследование эволюции структуры наносталей 20 и 45 при критических степенях пластической деформации. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 4. С. 89 – 93.
11. Чукин М.В., Копцева Н.В., Никитенко О.А., Ефимова Ю.Ю. Механические свойства углеродистой конструкционной стали с ультрамелкозернистой структурой. // Черные металлы, специальный выпуск. 2011. С. 54 – 59.
12. Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Барышников М.П., Никитенко О.А. Формирование структуры и механических свойств углеродистой конструкционной стали в процессе наноструктурирования методом равноканального углового прессования. // Деформация и разрушение материалов. 2011. № 7. С. 11 – 17.
13. Чукин М.В., Полякова М.А., Емалеева Д.Г. и др. Проблемы получения стальной проволоки с ультрамелкозернистой структурой. Метиз. 2010. №8 (63). С. 19 – 22.
14. Пат. 2467816 RU. МПК B21C 1/04, B21C 1/00. Способ получения ультрамелкозернистых полуфабрикатов волочением с кручением. Чукин М.В., Полякова М.А., Голубчик Э.М., Рудаков В.П., Носков С.Е., Гулин А.Е. Заявл. 28.02.2011. Оpubл. 27.11.2012. Бюл. № 33.
15. Пат. 130525 RU. МПК B21C1/00. Устройство для изготовления проволоки с ультрамелкозернистой структурой. Полякова М.А., Чукин М.В., Голубчик Э.М., Гулин А.Е. Заявл. 04.02.2013. Оpubл. 27.07.2013.
16. Полякова М.А., Гулин А.Е. Создание непрерывного метода деформационного наноструктурирования на основе совмещения операций. Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». Октябрь 2012 (том 5, номер 6). С. 624 – 630.
17. Полякова М.А., Голубчик Э.М., Гулин А.Е. Влияние схемы деформирования на формирование ультрамелкозернистой структуры углеродистых сталей. IV международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва. 25-28 октября 2011. Сборник материалов. – М.: ИМЕТ РАН, 2011. С. 201 – 203.
18. Гулин А.Е., Полякова М.А. Анализ эффективности метода деформационного наноструктурирования с использованием математического планирования эксперимента / Междунар. сб. науч. тр. «Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения» под ред. Н.Н. Огаркова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. С. 99 – 105.
19. Полякова М.А., Гулин А.Е., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А. Влияние знакопеременной деформации на формирование ультрамелкозернистой структуры и механические свойства высокоуглеродистой проволоки. Нанотехнологии функциональных материалов (НФМ'12): Труды междунар. научно-техн. конф. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2012. С. 278 – 282.